

В. П. ИВАНОВ, Л. Г. ШАЙМОРДАНОВ

**УСТАНОВКА ДЛЯ ЗАМЕРА МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ
ПРЕЦЕССИОННОМУ ДВИЖЕНИЮ РОТОРА,
ВОЗНИКАЮЩЕГО В ДЕМПФЕРЕ**

Создание высокоэффективных упруго-демпфирующих опор роторов занимает одно из ведущих мест в устранении вредных вибраций машин.

Существующие методы исследования демпферов опор роторов не лишены серьезных недостатков. Поэтому создание установки, позволяющей максимально приблизить условия испытания демпферов к эксплуатационным, облегчит пути повышения их эффективности.

В целях пояснения принципа работы установки рассмотрим прямое синхронное прецессирование оси вала O_2 (фиг. 1) вокруг оси изотропной демпфирующей опоры O_1 под действием составляющей силы дебаланса, действующей в опоре ρ и вращающейся с угловой скоростью ω .

Условия равновесия для демпфирующей опоры с неупругим сопротивлением, пропорциональным деформации, запишем в виде:

$$(c + ik)\rho l i\omega t = Pl^i (\omega t + \beta), \quad (1)$$

где c — коэффициент упругого сопротивления опоры;

k — коэффициент неупругого сопротивления опоры;

ρ — деформация в опоре.

Решив (1) относительно ρ , найдем:

$$\rho = \left| \frac{P}{c} \cos \beta \right|$$

и угол сдвига фазы силы и деформации:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{k}{c}; \quad (2)$$

неупругая составляющая \bar{P}_k вектора \bar{P} преодолевает силы трения в опоре:

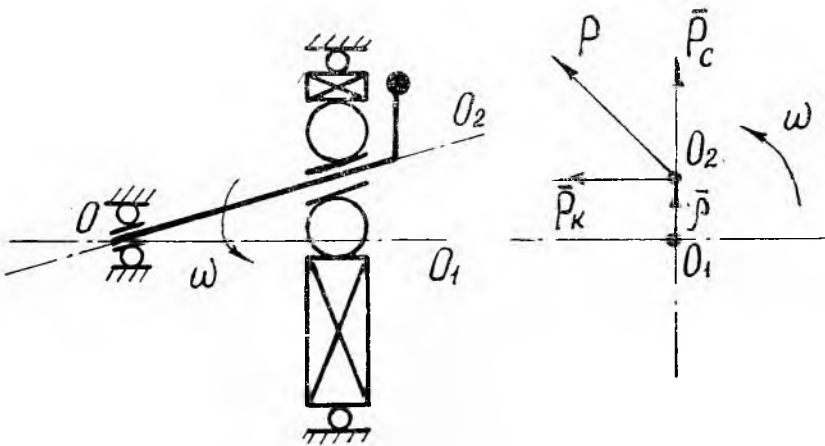
$$P_k = |P \sin \beta| \quad (3)$$

Она приложена в точке O_2 и создает момент относительно геометрической оси опоры O_1 :

$$M_k = \frac{P^2}{2c} \sin 2\beta. \quad (4)$$

Замерив этот момент, найдем циклическую энергию, рассеянную в демпфере:

$$\Delta W = \frac{\pi P^2}{c} \sin 2\beta. \quad (5)$$



Фиг. 1.

Ротор установки состоит из жесткого вала 1 с диском 2 и сменным дебалансным грузом 3. Ротор приводится во вращение через эластичную муфту 5 приводом достаточной мощности с плавной регулировкой оборотов и устанавливается в подшипниках 3 и 4 (фиг. 2).

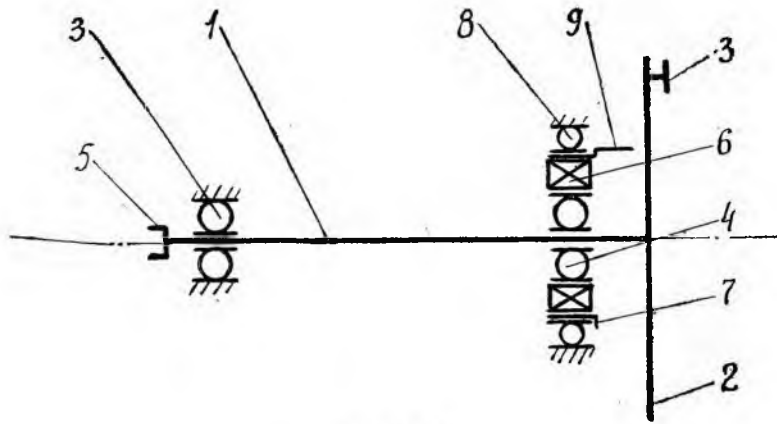
Подшипник 3 посажен в корпус непосредственно, а подшипник 4 через исследуемый демпфер 6, стакан 7, шарикоподшипник 8. На измерительном рычаге 9 стакана 7 любым из известных методов замеряем момент сопротивления прецессионному движению ротора M_k , возникающий в демпфере.

Меняя грузик 3, легко варьировать силу, действующую на демпфер. Установка может иметь устройство для имитации веса ротора.

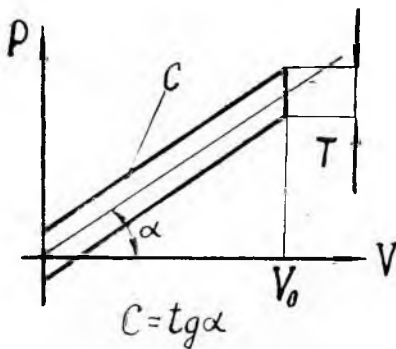
Момент сопротивления вращению подшипника 4 замеряется после замены исследуемого демпфера 6 жестким кольцом.

Установка позволяет исследовать демпферы как гидравлические, так и сухого трения.

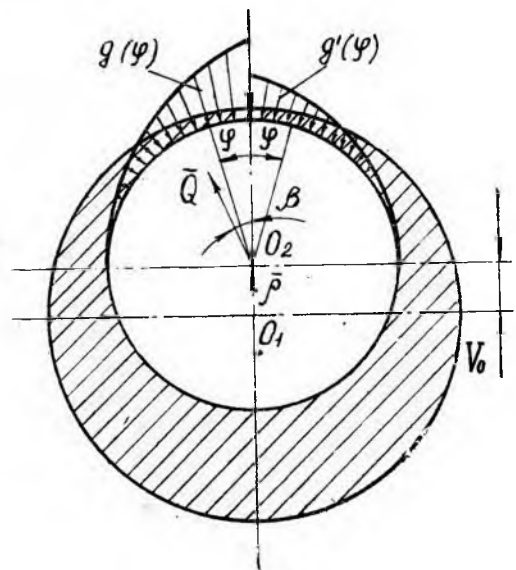
Ниже на простом примере демпфера сухого трения выполнен расчет момента сопротивления прецессионному движению ротора



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

и показана качественная картина его возникновения.

Рассмотрим кольцевой демпфер, выполненный из материала с упруго-гистерезисной петлей его элемента единичной длины в виде параллелограмма (фиг. 3) и нагруженный вращающимся вектором силы \bar{Q} (фиг. 4).

Вектор деформации демпфера $\rho = |O_1 O_2| = |V_0|$ отстает, как это показано выше, от вектора силы на угол β . Деформация материала демпфера уменьшается по закону косинуса в обе сторо-

ны от $\bar{\rho}$. Причем в зоне перед $\bar{\rho}$ по направлению вращения осуществляется процесс нагрузки и эпюра нормальных сил будет:

$$g(\varphi) = cv_0 \cos \varphi.$$

В зоне за вектором $\bar{\rho}$ материал демпфера разгружается и эпюра нормальных сил будет:

$$g^1(\varphi) = (cv_0 - T) \cos \varphi.$$

Равнодействующая нормальных сил $g(\varphi)$ и $g^1(\varphi)$ проходит через O_2 и создает момент сопротивления прецессии O_2 относительно O_1 :

$$\mu_n = \frac{1}{2} TRv_0. \quad (6)$$

За один оборот с каждого элемента демпфера снимается полный цикл. При этом перемещение наружной поверхности подшипника, как жесткого тела, по элементу демпфера составит $2V_0$. Работа касательных сил трения элемента о поверхность подшипника за оборот:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} f_v v_0 (2cv_0 - T), \quad (7)$$

f_v — коэффициент трения скольжения элемента демпфера по поверхности подшипника.

Касательные силы приложены непосредственно к демпферу и, просуммировав (7), получаем момент сопротивления прецессии от касательных сил демпфера:

$$\mu_\tau = \frac{\pi}{4} R f_v v_0 (2cv_0 - T). \quad (8)$$

Полный момент сопротивления прецессии вала, возникающий в демпфере и замеряемый установкой, а также циклическая энергия рассеяния будет

$$\mu_{np} = \frac{1}{2} Rv_0 \left[T + \frac{\pi}{2} f_v (2cv_0 - T) \right]; \quad (9)$$

$$\Delta W_{np} = \pi Rv_0 \left[T + \frac{\pi}{2} f_v (2cv_0 - T) \right]. \quad (10)$$

В гидравлических демпферах при циклической деформации энергия рассеивается в виде работы сил вязкого сопротивления жидкости насосным ходом, возникающим в его элементах. При этом равнодействующая сил нормальных давлений также проходит через ось вала O_2 и создает момент сопротивления прецессии относительно O_1 .

Рассмотренная установка расширяет возможность экспериментального исследования демпферов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурье. Аналитическая механика. Физматгиз, 1965.